

DEVICE FOR DECIDING INTERNAL PARAMETERS OF CAMERA

Patent Number: JP11355813
Publication date: 1999-12-24
Inventor(s): OSADA HIROSHI
Applicant(s): HONDA MOTOR CO LTD
Requested Patent: ☐ JP11355813
Application Number: JP19980172270 19980604
Priority Number(s):
IPC Classification: H04N17/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To precisely decide an inner parameter by correcting a plurality of image signals stored, based on a calculated lens distortion center and lens distortion quantity and deciding the internal parameters of a camera based on a plurality of corrected image signals.

SOLUTION: A processing unit 20 sets the reference position of a camera 10 based on the positions of the camera 10 and a lattice point, stores an image signal obtained by photographing the lattice point from the camera 10 which is set in the reference position, measures the coordinates of the lattice point based on the stored image signal and calculates lens distortion quantity. The processing unit 20 and an X-stage 16a move the camera to a forward direction or a backward direction from the reference position, which is set and stores a plurality of image signals obtained by photographing. The processing unit 20 corrects a plurality of stored image signals based on three calculated lens distortion center and lens distortion quantity and decides the internal parameter of the camera 10, based on a plurality of corrected image signals.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-355813

(43) 公開日 平成11年(1999)12月24日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 N 17/00

H 0 4 N 17/00

K

// G 0 1 M 11/02

G 0 1 M 11/02

B

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平10-172270

(22) 出願日

平成10年(1998)6月4日

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 長田 拓

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

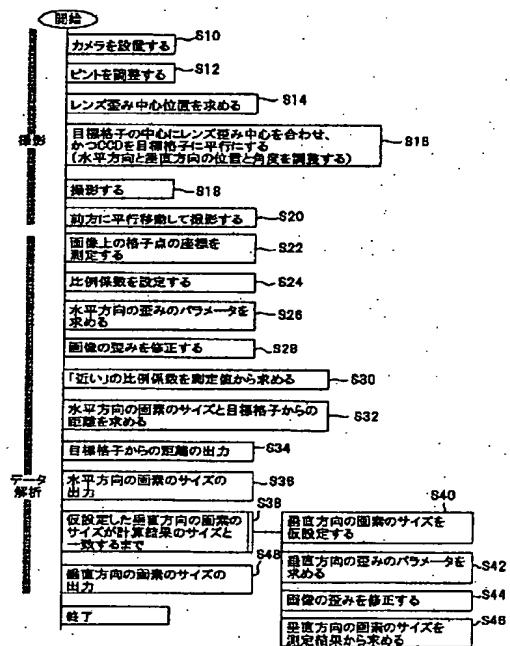
(74) 代理人 弁理士 吉田 豊

(54) 【発明の名称】 カメラの内部パラメータ決定装置

(57) 【要約】

【課題】 カメラレンズによる画像歪みの影響をパラメータ決定の際に考慮し、また内部パラメータの各パラメータをできるだけ独立に計算することでパラメータ決定精度を向上させる。

【解決手段】 カメラの角度を目標格子に対して上下左右に動かし、最も上下(または左右)方向の歪みの少ない位置を測定し、その位置をレンズ歪みの中心とする。また正確に前後移動できる雲台上でカメラを前後方向に移動して撮影した遠距離、近距離のデータと、設定したパラメータから求めたレンズによる歪みのない場合の遠距離のデータとからパラメータを決定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくともレンズ歪みを含むカメラの内部パラメータを決定する装置であって、

- a. 既知の格子点パターンを撮影して得られる画像信号をストアする第1の画像信号ストア手段、
- b. 前記ストアされた画像信号に基づいて前記カメラのレンズ歪み中心を算出するレンズ歪み中心算出手段、
- c. 前記算出されたレンズ歪み中心に基づいて調整された前記カメラと格子点パターンの位置に基づき、前記カメラの基準位置を設定する基準位置設定手段、
- d. 前記基準位置に設定されたカメラから前記格子点を撮影して得られる画像信号をストアする第2の画像信号ストア手段、
- e. 前記ストアされた画像信号に基づいて格子点の座標を測定してレンズ歪み量を算出する歪み量算出手段、
- f. 前記設定された基準位置から前または後方向に前記カメラを移動し、撮影して得られた複数個の画像信号をストアする第3の画像信号ストア手段、
- g. 前記算出されたレンズ歪み中心およびレンズ歪み量に基づき、前記ストアされた複数個の画像信号を修正するレンズ歪み修正手段、
- および
- h. 前記修正された複数個の画像信号に基づいて前記カメラの内部パラメータを決定するパラメータ決定手段、を備えたことを特徴とするカメラの内部パラメータ決定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明はカメラの内部パラメータ決定装置に関し、より詳しくはレンズによる画像の歪みを補正して内部パラメータを適正に決定するようにしたものに関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、カメラ、例えばCCDカメラの画像から撮影対象までの位置（あるいは離間距離）を測定する場合、例えばカメラの焦点距離、画像中心およびCCD画像をデジタル化した場合の1画素の大きさ、あるいはアスペクト比などのカメラパラメータが、測定精度に大きく影響する。

【0003】従来、これらのカメラパラメータは、特開昭63-136892号公報に示されるように算出されている。即ち、予め用意された基準となる n 個（ $n \geq 4$ ）の格子点を撮影し、その格子点 i （ $i = 1, 2, \dots, n$ ）の3次元上（平面12上の物体座標系）の座標（ a_i, b_i ）と画像上の座標（ p_i, q_i ）の組を複数個求める。

【0004】次いで、その3次元上の座標と既知のパラメータから計算によって求めた画像上の座標と、実際に測定した画像上の座標とが同値、あるいはその差が最も小さくなるように未知のパラメータ、具体的には、焦点

距離 f 、光軸点（オフセット量）（ f_p, f_q ）、アスペクト比 s を決定している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記した従来の手法では、これら内部パラメータとカメラ位置・姿勢のパラメータとを1回の撮影、測定（決定）から同時に求めることができるものの、十分な精度を得ることができなかった。

【0006】即ち、一般に撮影対象からの入射光がレンズを透過して画像に映り込む際、レンズ中心線から入射光がレンズを透過する角度によっては、画像周辺では画像中心（あるいは画像周辺）寄りに歪む傾向がある。

【0007】従来技術においては、このレンズによる画像の歪みを補正せずに各パラメータを決定しているため、カメラの内部パラメータを正確に決定することができなかった。また、補正項を入れた場合でも、歪み量は他のパラメータの量に比べて微小であり、他のパラメータと同時に求めていたため、正確な値を得ることが困難であった。

【0008】従って、この発明の目的は上記した不都合を解消することにより、レンズによる画像の歪みを補正して内部パラメータを正確に決定するようにしたカメラの内部パラメータ決定装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記した目的を解決するために、請求項1項に示す如く、少なくともレンズ歪みを含むカメラの内部パラメータを決定する装置であって、既知の格子点パターンを撮影して得られる画像信号をストアする第1の画像信号ストア手段、前記ストアされた画像信号に基づいて前記カメラのレンズ歪み中心を算出するレンズ歪み中心算出手段、前記算出されたレンズ歪み中心に基づいて調整された前記カメラと格子点パターンの位置に基づき、前記カメラの基準位置を設定する基準位置設定手段、前記基準位置に設定されたカメラから前記格子点を撮影して得られる画像信号をストアする第2の画像信号ストア手段、前記ストアされた画像信号に基づいて格子点の座標を測定しレンズ歪み量を算出する歪み量算出手段、前記設定された基準位置から前または後方向に前記カメラを移動し、撮影して得られた複数個の画像信号をストアする第3の画像信号ストア手段、前記算出されたレンズ歪み中心およびレンズ歪み量に基づき、前記ストアされた複数個の画像信号を修正するレンズ歪み修正手段、および前記修正された複数個の画像信号に基づいて前記カメラの内部パラメータを決定するパラメータ決定手段を備える如く構成した。

【0010】これによって、レンズによる画像の歪みを補正して内部パラメータを正確に決定することができる。また、構成としても簡易である。さらに、内部パラメータを正確に決定することで、ワークの位置決め、障害物検知などの精度を向上させることができる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、添付図面に即してこの発明の実施の形態を説明する。

【0012】図1はこの発明に係るカメラの内部パラメータ決定装置の構成を全体的に示す概略図である。

【0013】図1において、符号10はカメラ、より具体的にはCCDカメラ（以下単に「カメラ」という）を示す。カメラ10は、レンズ12およびカメラ本体14からなる。カメラ10は、雲台16上に載置され、固定される。

【0014】雲台16は、Xステージ16a、Yステージ16bおよびZステージ16cからなり、X、Y、Z軸方向に数μmごとに並進（移動）可能であると共に、矢印16d、16e、16fに示す如く、X、Y、Z軸回りに数分（1/60deg）ごとに回転可能、即ち6自由度を有するように構成される。

【0015】カメラ10の正面前方には、ボード18が配置される。ボード18には図2に示す如く、撮影対象として、格子18a（格子幅約40mm（離間距離1mとすると））が正確に表示される。撮影対象からの入射光はレンズ12を透過してカメラ本体14のCCD素子に像を結ぶ。

【0016】カメラ本体14の下部にはハウジング（図示せず）が設けられ、その中にマイクロコンピュータからなる処理ユニット20が収納される。カメラ10の出力（CCD素子からの出力）は、マイクロコンピュータからなる処理ユニット20に送られ、その中の画像入力ボードA/D変換処理によってデジタル化され、別体に設けられたデジタル画像表示装置（図示せず）に画像を表示する。デジタル画像表示装置は、640*480の画素を備える。尚、この明細書および図面で*は乗算記号を示す。

【0017】ここで、カメラ（内部）パラメータを説明する。図3は、格子18aを撮影するとき、カメラ10をピンホール・カメラでモデル化して示す説明図である。

【0018】図3に示す如く、撮影対象（格子18a）からの入射光は焦点Ogを通して直進し、CCD面上に画像を結ぶ。しかしながら、実際にはこのとき、レンズ

$$f(r') = A_1 r' + A_2 r'^2 + A_3 r'^3 + A_4 r'^4 + \dots$$

ただし、 A_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) : 係数

【0028】即ち、実際に測定した歪みの量を画像中央からの距離を横軸とした多項式で最小2乗近似し、それぞれの係数 A_1, A_2, A_3, \dots を求める。以下、この係数 A_i を「レンズ歪み係数」という。

【0029】以上から、歪みによる影響を考慮すると、図3に示す3次元上の点Pg (x_g, y_g, L) [m

12の歪みによって、実際の像は直進した光よりも少し内側（中心寄り）に歪んで写る。尚、レンズによっては先にも触れたように外側寄りに歪んで写る場合もあるが、以下では内側に歪む場合を例にとって説明する。

【0019】図4はレンズの歪みによって画像の歪む状態を表す概略図である。即ち、図4に示すように、画像は、レンズの歪みによって画像周辺では直線は湾曲する。

【0020】一般に、レンズによる歪み量は画像中心からの距離によって決まるため、画像中心に対して対称になる。しかし画像中心はデジタル化した画像メモリの中心と一致しているとは限らない。

【0021】従って、画像から撮影対象（物体）を位置決めする場合、レンズによる画像の歪み中心および歪み量を決定して考慮する必要がある。

【0022】図5は、レンズによる画像の歪みをモデル化して示す説明図である。図5において、点O'は画像メモリの中心座標、点O (o_x, o_y)はレンズ歪みの中心座標である。

【0023】ここで、撮影した点の3D上の位置から焦点を中心にして比例配分して得られるCCD画像上の理論点（レンズ歪みがないとした時の画像上の点）を点Pi' (x_i', y_i')、実際の測定により得られる点を点Pi (x_i, y_i)とすると、点Piはレンズ歪みにより点Pi'より点O（レンズ歪み中心）側に寄る。尚、iは格子点番号を意味する。

【0024】点Pi, Pi'のレンズ歪み中心Oからの距離をそれぞれ r, r' とすると、前記したレンズ歪みの量は、 r, r' の関数 f として数1のように表すことができる。以下、この関数 f を「レンズ歪みの関数」という。

【0025】

【数1】

$$f(r, r') = r' - r$$

【0026】レンズ歪みの関数 f はレンズの設計によって決まるが、計算によって求めるため、距離 r' の多項式により数2のように近似する。

【0027】

【数2】

m]とレンズ歪みがない場合の格子点の像である画像上の点Pdi (x_{di}, y_{di}) [dot]との関係は、数3のように表すことができる。

【0030】

【数3】

$$\begin{aligned}
 xdi &= (1/Xa) xi + ox \\
 &= (1/Xa) \cdot (r' - f(r')) / r' * (F/L) * yg + ox \\
 ydi &= (1/Ya) yi + oy \\
 &= (1/Ya) \cdot (r' - f(r')) / r' * (F/L) * zg + oy
 \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 r' &= \sqrt{(xi')^2 + (yi')^2}, \\
 xi' &= (F/L) yg, \quad yi' = (F/L) zg, \\
 f(r') &= A_1 r' + A_2 r'^2 + A_3 r'^3 + A_4 r'^4 + \dots
 \end{aligned}$$

【0031】ここで、iは前記の如く格子点番号、Xaは水平方向の画素サイズ、Yaは垂直方向の画素サイズ、Fは、図3に示す如く、ピンホールカメラで近似した場合のCCD面（撮像面）から焦点までの距離、Lは撮影対象から焦点までの距離である。

【0032】画素サイズ（Xa、Ya）は、ディジタル化した画像がCCD面上にあると考えたときの1画素の縦と横の長さである。これはCCD素子の画素サイズではなく、画像入力ボードのA/D変換処理によって得たデジタル画像の1画素のサイズである。故に、CCD素子の画素サイズの他、A/D回路の特性によっても変化するため、CCDカメラ10の仕様および測定によって決定する。

【0033】レンズ12は複数枚のレンズを組み合わせた複合レンズを使用しており、レンズ12の位置といってもかなりの幅を持っているが、図3のようにピンホールカメラで近似すると、焦点の位置を決めることができる。

【0034】しかし、この焦点の位置もCCD面などのように実体があってカメラの外部から知ることができる位置ではないので、測定によって決定する。ここでは撮影対象物から焦点までの距離L[mm]として求める。

【0035】しかしながら、上記した数3において、レンズ歪み中心座標O、レンズ歪み関数f、画素サイズ（Xa、Ya）、焦点位置Og（または焦点距離L）はいずれも未知である。

【0036】そこで以下にそれぞれのパラメータの決定手法について述べる。

【0037】図4に示すように、画像は、レンズの歪みによって画像周辺では直線は樽型に写る。従って、例えばカメラ10を上下に動かしながら水平線を撮影し、最も上下方向の歪みの少ない位置をレンズ歪み中心のY座標oy[dot]とする。また同様に、左右方向の歪みの少ない位置をレンズ歪み中心のX座標ox[dot]とする。撮影する際には測定したレンズ歪み中心位置と格子の中心位置とを合わせる。また、レンズ歪みを含んだ画像でも歪みの量は歪み中心に対称になるので、中心

から等距離にある格子点が画像上でも等距離になるようにカメラの位置と角度を調節することで、撮影対象の格子と撮像面を平行にする。

【0038】また数1および数2によりレンズ歪みの関数fを求めるためには、撮像データの他に、レンズ歪み中心座標Oと、前述したレンズ歪みがない場合の格子点の像Pdiのデータが必要であるが、レンズ歪み中心の座標以外はこの時点では求められていない。

【0039】そこで、オペレータによってカメラ10の位置を少し前方（撮影対象物に近づく方向）に移動して撮影する。図6はカメラ10の位置を移動した状態を説明する説明図である。

【0040】尚、移動前の撮影で得られる画像データを「遠い」データとし、そのときの水平軸上の各格子点の画像上の座標値をXmi'とする。同様に、移動後に得られる画像データを「近い」データとし、そのときの水平軸上の各格子点の画像上の座標値をXni'とする。

【0041】レンズ12に歪みがなければ、3D上の点の位置Wiと座標値Xiの関係は、格子18aとの距離L、カメラ10の平行移動量D、焦点距離F、画素のサイズXaで決まる傾きを持った比例関係にある。

【0042】図7は、歪みのない場合の格子点の3D上の位置と画像上の位置の関係を表すグラフ図である。

尚、図中の直線S1は「近い」場合の比例直線を、S2は「遠い」場合の比例直線を表す。この関係は、具体的には、レンズ歪みのない場合の「遠い」および「近い」場合の座標値をXmi、Xniとすると、数4のように表すことができる。

【0043】

【数4】

$$\begin{aligned}
 Wi &= \{(L * Xa) / F\} * Xmi \\
 &= \{(L - D) * Xa / F\} * Xni
 \end{aligned}$$

【0044】尚、以下で特に明示しない限り、比例係数とは、WiとXiの比例係数、より具体的には「遠い」の場合ではF/(L * Xa)、「近い」場合ではF/{(L - D) * Xa}を示す。

【0045】しかし、実際のカメラキャリブレーションの場合に測定できるのは、レンズ12による画像の歪みが増加したデータであるので、このレンズ歪みを含むデータからレンズ歪みの量を求めなければならない。

【0046】図8は、レンズ12による画像の歪みが増加したときの格子の3D上の位置と画像上の位置の関係を表すグラフ図である。S1、S2にレンズ歪みが増加したデータをS1'、S2'とする。実際の測定ではS1'、S2'のデータが得られる。

【0047】そこで、レンズ歪みのない場合の「遠い」の比例直線、より具体的には、その傾き（以下「遠い」の比例係数という）を適当に設定する。図8に、その「遠い」の比例直線を破線でS2と示す。比例直線S2と測定した曲線S2'から、レンズ歪みの関数f(X

$$L = -D * X_{ni} / (X_{mi} - X_{ni})$$

$$X_a = F * W_i * (X_{mi} - X_{ni}) / (-D * X_{ni} * X_{mi})$$

【0051】図6において、カメラ10の平行移動量D、各格子点の「遠い」および「近い」の画像座標値X_{mi'} (X_a*X_{1i})、X_{ni'} (X_a*X_{2i})および3次元上の格子点の位置W_i（中心から格子点までの距離）は測定可能である。そこで、レンズ歪みを含む画像座標値X_{mi'}、X_{ni'}をレンズ歪みの関数fを用いて補正し、補正した値をX_{mi}、X_{ni}とする。

【0052】以上から、画素サイズX_aおよび撮影対象と焦点との距離Lを決定するために必要なパラメータ（平行移動距離D、格子点位置W_i、上記求めたX_{ni}、X_{mi}）を得ることができるので、それらからL、X_aを決定することができる。

【0053】しかし、実際には各格子点ごとにX_a、Lを求めると、本来同じはずのX_aやLの値のばらつきが大きいため、直接計算することはできない。

【0054】そこで数4のW_iとX_{ni}の「近い」場合の比例係数X_{ni}/W_i（直線S1の傾き）をA_nとし、複数の測定値を使ってA_nの値を最小2乗近似によって求める。同様にX_{mi}についても、「遠い」場合の比例係数X_{mi}/W_i（S2の傾き）をA_mとし、測定値から最小2乗近似によって求める。

【0055】次いで、求めた比例係数A_n、A_mを、数5の右辺をW_i（X_aはW_i²）で除算して得た数6に代入し、よってX_a、Lを求めることができる。

【0056】

【数6】

$$L = -D * A_n / (A_m - A_n)$$

$$X_a = F * (A_m - A_n) / (-D * A_n * A_m)$$

【0057】数6から明らかなように、カメラ10の平行移動量Dの精度は直接計算結果の精度となるので、十

i)をX_iの多項式で近似して求める。尚、比例直線はどのように設定しても良いが、図8ではS2はS2'の原点近傍での傾きにほぼ等しくなるように設定した。

【0048】また、レンズ歪み量はレンズ歪み中心からの位置で決まるため、図8に示すように画像上のある点X_{i1}に対応する歪みの量は、「近い」場合も「遠い」場合も同じ値になるはずである。従って、「近い」の曲線S1'も、このレンズ歪みの関数f(X_i)によって補正し、比例直線S1を得る。

【0049】一方、画素のサイズX_a、撮影対象と焦点との間の距離Lは、数4を変形した数5のように求めることができる。

【0050】

【数5】

分な精度で決定する必要がある。尚、ここで得られるX_a、Lの値も、先に設定した「遠い」の比例係数から計算している。このような比例係数は、図8の測定曲線の付近ならば、自由に設定することができる。例えば、比例係数が原点での測定値曲線S2'の傾きと一致するように設定しても良く、あるいは歪み量の和が最小となるように設定しても良い。

【0058】上記は画素サイズの水平方向の値X_aの決定手法についての説明であるが、垂直方向の値Y_aについても同様の手法によって求めることができる。

【0059】即ち、格子の垂直方向の中心にレンズ歪みの中心垂直座標o_yを合わせ、かつ、中心から垂直方向に等距離にある格子点が画像上でも等距離になるようにカメラの位置と角度を調節することで、撮影対象の格子と撮像面を平行にして撮影し、この距離を「遠い」距離とする。また、撮影データから、格子の垂直方向の座標W_iに対する画像垂直座標Y_{mi'}のデータを測定する。

【0060】レンズ歪みがない場合の各格子の画像上の座標をY_{mi}とすると、3D上の格子点座標W_iとの関係は、数4を変形して数7のように表すことができる。

【0061】

【数7】

$$W_i = \{(L * Y_a) / F\} * Y_{mi}$$

【0062】数7を微分すると、水平方向の歪みの関数f(X_i)=A₁X_i+A₂X_i²+...は、X座標の関数なので、数8に示す如く、Y座標の関数に変換する。しかし、この時点ではY_aはまだ求められていないため、Y_aは仮設定する。

【0063】

【数8】

$$\begin{aligned}
 g(Y_i) &= (X_a/Y_a) * f(Y_i * (Y_a/X_a)) \\
 &= (A_1 * Y_i (Y_a/X_a) + A_2 * Y_i^2 (Y_a/X_a)^2 \\
 &\quad + \dots) * (X_a/Y_a) \\
 &= A_1 * Y_i + (Y_a/X_a) * A_2 * Y_i^2 + \dots
 \end{aligned}$$

【0064】数7の W_i と Y_{mi} の比例係数 $Y_{mi}/W_i (=F/(L*Y_a))$ を B_m とし、水平方向の場合と同様に、複数の測定値から B_m の値を最小2乗近似によって求める。撮影対象と焦点との間の距離 L は既に求まっているので、その値 L と B_m から Y_a を決定することができる。

【0065】しかし、上記で求まる Y_a も、先に仮設定した Y_a から計算しているため、正しい値となっているとは限らない。そこで、求めた Y_a と仮設定の Y_a の値を比較して一致する場合、 Y_a は正しいと考えることができる。従って、一致するまで Y_a の仮設定値を適宜変更して調節する。

【0066】以上の如くして、カメラ内部パラメータとしてレンズ歪みパラメータ（レンズ歪み中心位置、レンズ歪み量（または関数））、画素サイズ（ X_a , Y_a ）および撮影対象と焦点との間の距離 L を求めることができる。

【0067】次いで、この発明に係る装置の動作を説明する。

【0068】図9は、図1に示す装置において、レンズ歪み中心位置およびレンズ歪み関数を求める計算手順を示すブロック図である。図10は、水平方向の画素のサイズおよび撮影対象物から焦点までの間の距離 L を求める計算手順を示すブロック図である。図11は垂直方向の画素のサイズを求める計算手順を示すブロック図である。これら図9ないし図11に示す手順は、一連の計算手順である。

【0069】また、図12は、同様の動作を示すフロー・チャートである。

【0070】以下、図12フロー・チャートを中心に、図9ないし図11ブロック図を参照しつつ、この発明に係る装置の動作を説明する。

【0071】まず、S10において内部パラメータを測定（決定）するカメラ10を設置する。次いでS12に進んでカメラ10のピントをボード18の格子18aに合わせ、S14に進んでレンズ歪み中心位置を求める。具体的には以下のように中心位置を決定する。

【0072】まず、格子18aの間隔を目分量で0.1[mm]まで計測し、次いでオペレータの手作業を介してカメラ10の角度を上下に動かしながら水平線を撮影する。

【0073】このとき、最も上下方向の歪みの少ない（直線に近い）線分を、レンズ歪み中心のY座標 o_y とする。同様に、カメラ10の角度を左右に動かしながら

垂直線を撮影し、最も左右方向の歪みの少ない（直線に近い）線分を、レンズ歪み中心のX座標 o_x とする。このようにして得られた座標を、レンズ歪みの中心点O(o_x , o_y) [dot]とする。

【0074】次いでS16に進み、格子18aの中心にレンズ歪みの中心を合わせ、かつCCD面を格子18aに平行にする。具体的には以下の手順で中心を合わせる。

【0075】まず、中心格子から等距離にあつて画像の左右の端近くにある格子と、中心格子との距離が画像上でも（即ち、実際にも）左右で等しくなるように（0.1[dot]以内において）、左右方向の位置と角度を調節する。

【0076】次いで画像の上下方向についても、同様に端近くにある格子と中心との距離が上下で等しくなるように（0.1[dot]以内）、高さや角度を調節し、目標格子の中心にレンズ歪みの中心を合わせる。次いで、S18に進んで格子18aを撮影する。

【0077】尚、ここでのカメラ10と格子18aとの距離を「遠い」距離とする。次いでS20に進んで、カメラ10を前方に所定距離移動し、「近い」距離で撮影する。

【0078】尚、実際の撮影ではレンズ12のピントを変えると焦点距離が微妙に変化するため、「遠い」距離にピントを合わせ、そのまま「近い」距離で撮影する。同時にカメラ10の先端、より具体的にはレンズ12の先端と格子18aとの距離 D も測定する。

【0079】次いでS22に進み、「近い」「遠い」距離で撮影した画像から、その画像上の格子点の座標を測定し、「近い」「遠い」場合のデータ化、グラフ化をする。尚、実際はアナログ系のノイズなどの影響を平均化するため、各位置で複数回の撮影を行い格子点座標の平均の値を求めて利用する。

【0080】次いでS24に進んで比例係数を設定し、S26に進んで水平方向の歪みのパラメータを求め、S28に進んで画像の歪みを修正し、S30に進んで「近い」の比例係数を測定値から求め、S32に進んで水平方向の画素サイズ X_a と、目標格子からの距離、即ち、撮影対象と焦点との間の距離 L を算出する。

【0081】以下にその算出手順を、図9および図10ブロック図を参照しながら説明する。

【0082】S18からS22までの処理で得られる「近い」「遠い」場合の画像データは、レンズ歪み中心の画像中心からのずれがS16において既に補正されて

いるが、ここでの画像データは特に水平方向(X方向)のずれの補正をしたものを用いる。

【0083】このレンズ歪み中心のずれを補正した画像を、以下、中心画像データという。図9、図10ブロック図に、「近い」「遠い」場合の中心画像データをそれぞれ符号100、102で示す。

【0084】例えば、「遠い」場合の比例係数の設定について図9を参照して説明すると、「遠い」比例係数を比例係数設定部106で、図8に示す測定曲線の付近に歪み補正後の直線が引かれるような範囲の中で適当な値を設定する。また、3次元上の実格子データ108から比例画像データ110(レンズ歪みが無い場合の画像上の格子点位置)を求め、レンズ歪み中心のずれを補正して中心比例画像データ112とする。

【0085】即ち、中心画像データ100と中心比例画像データ112の差分を求め、レンズ歪みの関数演算部114に入力する。レンズ歪みの関数演算部114では各格子点のレンズ歪み中心座標からの距離 X_i での歪み量を求め、それをレンズ歪み中心を通る曲線で中心からの距離 X_i の関数 $f(X_i)$ として最小2乗近似して求める。

【0086】尚、実際の測定では3次までの近似式では $0.1[\text{dot}]$ 以下の近似となっていて十分な精度が得られること、また4次までの近似式でもあまり近似精度が改善されないことから、この実施の形態では3次までの近似を行う。

【0087】次いで、図10に示す如く、「近い」「遠い」場合の中心画像データ100、102を得られたレンズ歪みの関数 $f(X_i)$ を用いて歪み補正し、歪み補正中心画像データ116、118とする。

【0088】次いで、歪み補正中心画像データ116(X_{mi})、118(X_{ni})と実格子データ108のレンズ歪み中心を原点とした中心実格子データ122(W_i)を比例係数算出部124に入力し、比例係数算出部124において「遠い」「近い」場合のそれぞれの比例係数 A_m 、 A_n を最小2乗推定して求める。

【0089】そして、水平方向の画素のサイズと目標格子からの距離を求める。

【0090】即ち、「遠い」の比例係数 A_m および「近い」の比例係数 A_n の連立方程式126から、より具体的には、数6から水平方向の画素サイズ X_a 、撮影対象と焦点との間の距離 L を算出する。移動距離 D は既知であり、またCCD面と焦点との間の距離 F も、 X_a と従属関係にあるので、固定値で良い。

【0091】図12の説明に戻ると、次いでS34、S36に進んで得られた値を出力し、S38ないしS46に進んで垂直方向の画素のサイズ Y_a を決定する。

【0092】即ち、仮設定した垂直方向の画素のサイズと計算結果のサイズが、完全にあるいは略一致するまで(S38)、垂直方向の画素のサイズを仮設定し、垂直

方向の画素のサイズを測定結果から求める(S40からS46)。尚、垂直方向の画素サイズの算出に、ここでは「遠い」の画像データを用いる。

【0093】この中心画像データを、図11に符号200で示す。同様に、垂直方向のレンズ歪み中心を原点とした実格子データを中心実格子データ202とする。

【0094】レンズ歪み係数は先に得られているが、水平方向の画素 X_i の関数となっているので垂直方向の画素 Y_i の関数に変換する。垂直方向の画素サイズ Y_a を適当な値に仮設定し、数8に示すようにそれと水平方向のレンズ歪みの係数から垂直方向の歪みの関数 $g(Y_i)$ を求める。求めた垂直方向の歪みの関数 $g(Y_i)$ により、中心画像データ200の歪みを補正して歪み補正中心画像データ204とする。

【0095】歪み補正中心画像データ204と中心実格子データ202とから、比例係数算出部206において目標格子18の画像垂直方向座標 Y_i と3D上の垂直方向座標 W_i の比例係数 B_m を最小2乗推定で算出する。

【0096】目標格子と焦点との間の距離 L は先に得られているので、値 L および上記で算出した B_m を用いて方程式208、即ち、数9に従って垂直方向の画素のサイズ Y_a を求める。

【0097】

【数9】

$$Y_a = F / (B_m * L)$$

【0098】ここで求められる Y_a は、先に適当な値に仮設定した Y_a と比較され、一致すると判断されるときは、一致するまで上記したS36からS40までの処理を繰り返す。

【0099】続いてS48に進んで上記の如く決定した垂直方向の画素のサイズ Y_a の値を出力する。

【0100】上記の如く、この実施の形態は、少なくともレンズ歪みを含むカメラ10の内部パラメータを決定する装置であって、既知の格子点パターン18aを撮影して得られる画像信号をストアする第1の画像信号ストア手段(処理ユニット20)、前記ストアされた画像信号に基づいて前記カメラのレンズ歪み中心を算出するレンズ歪み中心算出手段(処理ユニット20、S14)、前記算出されたレンズ歪み中心に基づいて調整された前記カメラと格子点パターンの位置に基づき、前記カメラの基準位置を設定する基準位置設定手段(処理ユニット20、16dから16f、S16)、前記基準位置に設定されたカメラから前記格子点を撮影して得られる画像信号をストアする第2の画像信号ストア手段(処理ユニット20、S18)、前記ストアされた画像信号に基づいて格子点の座標を測定してレンズ歪み量を算出する歪み量算出手段(処理ユニット20、S26、S42)、前記設定された基準位置から前または後方向に前記カメ

ラを移動し、撮影して得られた複数個の画像信号をストアする第3の画像信号ストア手段(処理ユニット20, 16a, S20)、前記算出されたレンズ歪み中心およびレンズ歪み量に基づき、前記ストアされた複数個の画像信号を修正するレンズ歪み修正手段(処理ユニット20, S28, S44)、および前記修正された複数個の画像信号に基づいて前記カメラの内部パラメータを決定するパラメータ決定手段(処理ユニット20, S30, S32, S38, S46)を備える如く構成した。

【0101】上記の如く構成したことから、レンズ12による画像の歪みを補正することで、カメラの内部パラメータを正確に決定することができる。また、構成として簡易である。さらに、カメラの内部パラメータを正確に決定できることで、ワークの位置決め、障害物検知などに用いるときも、精度を向上させることができる。

【0102】尚、上記において、焦点距離Fを固定して水平方向の画素のサイズXaと距離Lを求め、次いで垂直方向の画素のサイズYaを求めたが、水平方向の画素のサイズXaを固定し、数10に従って焦点距離Fと距離Lを求め、垂直方向の画素のサイズYaを求めても良い。

【0103】

【数10】

$$L = D * A_n / (A_m - A_n)$$

$$F = (X_a * D * A_n * A_m) / (A_m - A_n)$$

【0104】さらには、垂直方向の画素のサイズYaを固定し、数11に従って焦点距離Fと距離Lを求め、次いで水平方向の画素のサイズXaを求めても良い。

【0105】

【数11】

$$L = (D * B_n / (B_m - B_n))$$

$$F = (Y_a * D * B_n * B_m) / (B_m - B_n)$$

【0106】

【発明の効果】請求項1項にあっては、レンズによる画像の歪みを補正することで、内部パラメータを正確に決定することができる。また、構成として簡易である。さらに、内部パラメータを正確に決定することで、ワークの位置決め、障害物検知などに用いるとき、精度を向上

させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係るカメラの内部パラメータ決定装置の構成を全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示すボード上に表示された格子(撮影対象)を示す説明図である。

【図3】図1に示すカメラをピンホール・カメラでモデル化して示す説明図である。

【図4】図1に示すカメラのレンズの歪みによって画像の歪む状態を示す説明図である。

【図5】図1に示すカメラのレンズによる画像の歪みをモデル化して示すモデル図である。

【図6】図1に示すカメラの前後方向への移動を示す説明図である。

【図7】図1に示すカメラにおいて、歪みのない場合の格子点の3D上の位置と画像上の位置の関係を表すグラフ図である。

【図8】図1に示すカメラにおいて、レンズによる画像の歪みが加わったときの格子の3D上の位置と画像上の位置の関係を表すグラフ図である。

【図9】図1に示す装置の動作を示す、レンズ歪み中心位置およびレンズ歪み関数を求める計算手順を示すブロック図である。

【図10】図1に示す装置の動作を示す、水平方向の画素のサイズおよび撮影対象物から焦点までの間の距離Lを求める計算手順を示す、図9に連続するブロック図である。

【図11】図1に示す装置の動作を示す、垂直方向の画素のサイズを求める計算手順を示す、図9に連続するブロック図である。

【図12】図1に示す装置の動作を示す、フロー・チャートである。

【符号の説明】

10 カメラ(CCDカメラ)

12 レンズ

14 カメラ本体

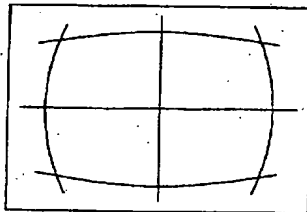
16 雲台

18 ボード

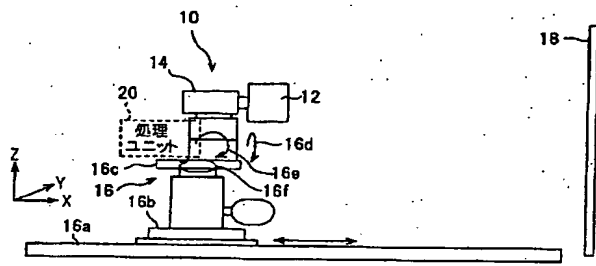
20 処理ユニット

114 レンズ歪みの関数演算部

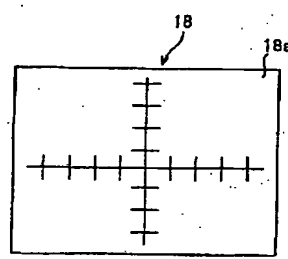
【図4】



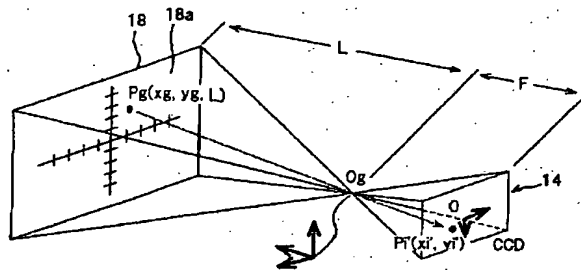
【図1】



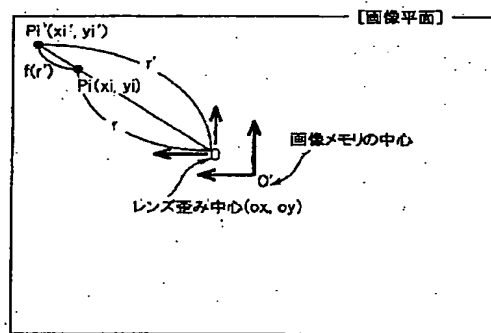
【図2】



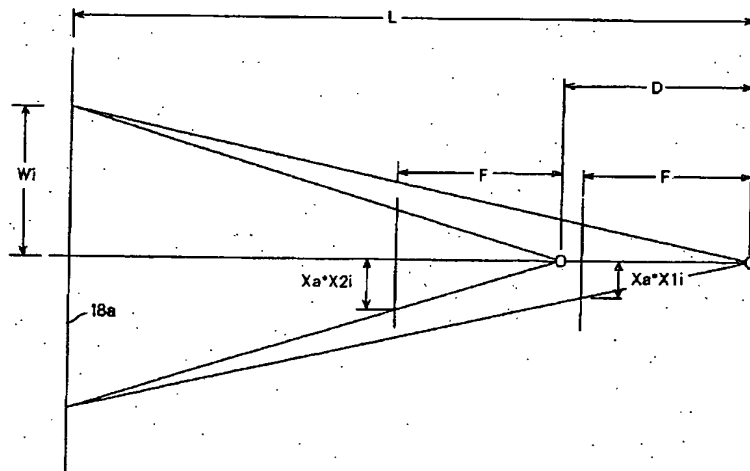
【図3】



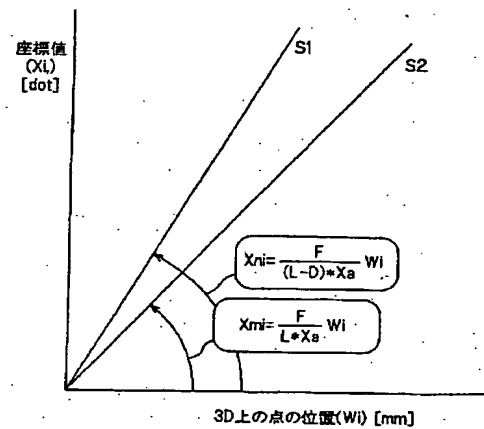
【図5】



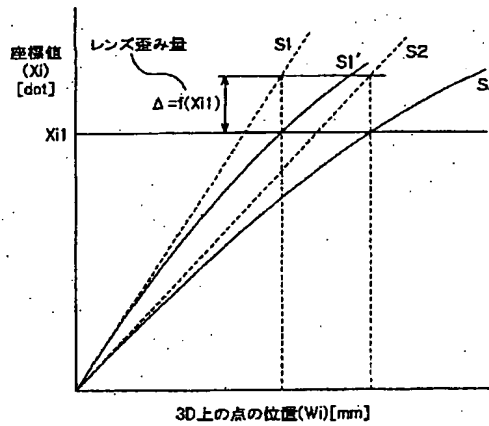
【図6】



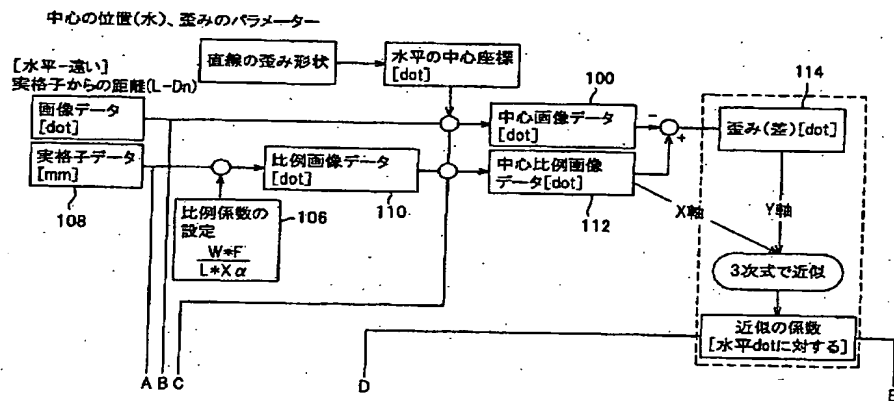
【図7】



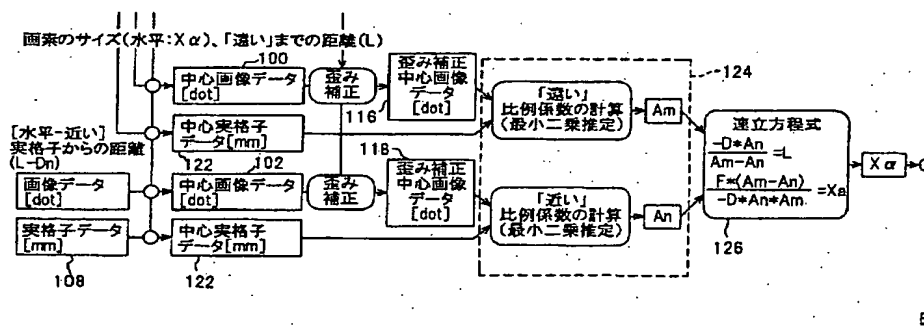
【図8】



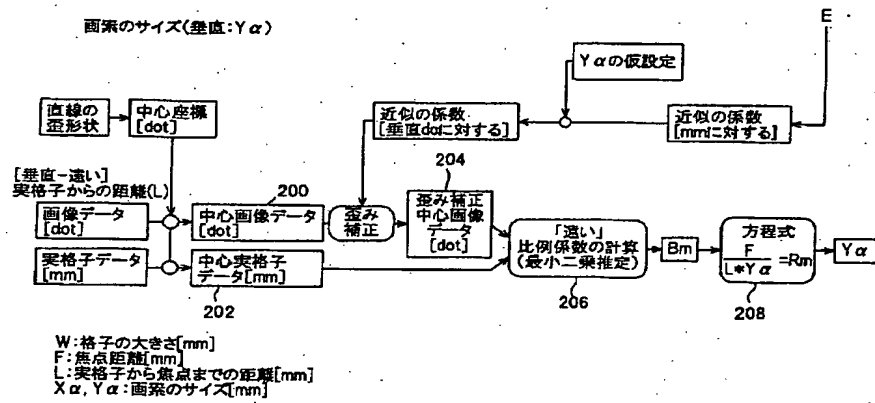
【図9】



【図10】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

